



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**DESAIN DAN ANALISA *IMPACT* PADA STRUKTUR *BUMPER*
DEPAN KENDARAAN *SUV* DENGAN METODE ELEMEN
HINGGA**

TUGAS AKHIR

JUFRY JIMMY PANJAITAN

L2E 007 032

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

SEMARANG

MARET 2012

TUGAS AKHIR

Diberikan kepada :
NAMA : Jufry Jimmy Panjaitan
NIM : L2E 007 053
Dosen Pembimbing : Ir. Djoeli Satrijo ,MT
Jangka Waktu : 12 (dua belas) bulan
Judul : **DESAIN DAN ANALISA *IMPACT* PADA STRUKTUR
BUMPER DEPAN KENDARAAN SUV DENGAN
METODE ELEMEN HINGGA**
Isi Tugas : Melakukan analisa *displacement* dan tegangan *Von Mises*
pada struktur *bumper* depan dengan memberikan
pembebanan pendulum sesuai *ECE R.42*

Semarang, Maret 2012

Pembimbing I



Ir. Djoeli Satrijo, MT

NIP. 196107121988031003

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Jufry Jimmy Panjaitan

NIM : L2E 007 053

Tanda Tangan :



Tanggal : Maret 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Jufry Jimmy Panjaitan

NIM : L2E 007 032

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

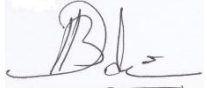
Judul Skripsi : Desain dan Analisa *Impact* pada Struktur *Bumper* Depan
Kendaraan *SUV* dengan Metode Elemen Hingga

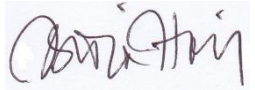
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Ir. Djoeli Satrijo, MT ()

Penguji : Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK ()

Penguji : Ir. Dwi Basuki Wibowo, MS ()

Penguji : Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT ()

Semarang, Maret 2012

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Sulardjaka, ST, MT

NIP. 197104201998021001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : JUFRY JIMMY PANJAITAN
NIM : L2E 007 053
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**DESAIN DAN ANALISA *IMPACT* PADA STRUKTUR *BUMPER*
DEPAN KENDARAAN *SUV* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

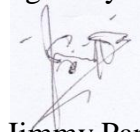
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : Maret 2012

Yang menyatakan,



Jufry Jimmy Panjaitan
NIM. L2E 007 053

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

I'll Never Walk Alone

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ☆ Orang tua saya tercinta, Jumentang Panjaitan dan Dumaria Napitupulu yang selalu memberikan doa, nasehat, kasih sayang serta dukungan baik moral maupun material.
- ☆ Kakak saya terkasih Melva Sisca Romenta Panjaitan atas dukungannya.
- ☆ Abang saya terkasih Larry Haul Oliver Panjaitan atas dukungannya.
- ☆ Adik saya terkasih Boike Jhon Andre Panjaitan, Mike Febriyanti Elisabeth Panjaitan, dan Nico Gorga Soros Panjaitan atas dukungannya.

ABSTRAK

Bumper merupakan salah satu komponen otomotif yang terletak di ujung depan dan belakang rangka kendaraan yang berfungsi sebagai perangkat pengaman untuk menjamin keselamatan penumpang. *Bumper* harus memiliki struktur yang mampu menyerap energi semaksimal mungkin saat terjadi *impact*/tabrakan sehingga energi *impact* yang terkena pada *bumper* tidak diteruskan ke dalam *cabin* penumpang.

Ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam merancang sistem *bumper*. Faktor yang paling penting adalah kemampuan *bumper* untuk menyerap energi saat terjadi tabrakan. Faktor lain yang dianggap penting adalah material yang digunakan pada sistem *bumper* itu sendiri meliputi kemampuan daur ulang, bobot, dan harga. Parameter yang paling penting untuk mendesain dan menganalisa *bumper* depan meliputi material, ketebalan, bentuk, dan kondisi *impact*.

Penelitian ini mendesain dan menganalisa struktur *bumper* depan ketika diberikan pembebanan sesuai dengan *ECE R. 42*. Simulasi *bumper* depan dilakukan pada kondisi *impact* dengan kecepatan rendah sesuai dengan standar kendaraan *ECE R. 42*. Pada penelitian ini, penulis melakukan analisa desain *bumper* depan berdasarkan parameter bentuk (3 desain) , bahan (Aluminium 3105-H18, Aluminium 2219-T31, dan Aluminium 2024-T86), ketebalan (3 mm, 4 mm dan 5 mm) dan *absorber* dengan karet. Pemodelan dan analisa dilakukan dengan bantuan *software CATIA* dan *ANSYS LS-DYNA*.

Kata kunci: *Bumper*, *ECE R. 42*, *impact*.

ABSTRACT

Bumper is one of the automotive components located on the front end and rear vehicle frame that serves as a safety device to ensure the safety of passengers. Bumper shall have a structure that can absorb the maximum energy during impact / collision so that the impact energy that is exposed on the bumper is not passed on to the passenger cabin.

There are several factors to consider in designing the bumper system. The most important factor is the ability of the bumper to absorb energy in a crash. Another factor considered important is the material used on the bumper itself sisitem include recycling capacity, weight, and price. The most important parameters for designing and analyzing the front bumper include material, thickness, shape, and impact conditions.

This research designed and analyzed the structure of the front bumper when loading is given in accordance with ECE R. 42. Simulations performed on the front bumper with a low velocity impact conditions in according with ECE vehicle standards R. 42. In this study, the authors analyze the design of the front bumper on the shapes parameter (3 designs), materials (Aluminium 3105-H18, Aluminium 2219-T31 and Aluminium 2024-T86), thickness (3 mm, 4 mm and 5 mm) and the absorber with rubber. Modeling, solving and result`s analysis are done in CATIA and ANSYS LS-DYNA.

Keyword: Bumper, ECE R. 42, impact.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah melimpahkan berkat kasih karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “**DESAIN DAN ANALISA *IMPACT* PADA STRUKTUR *BUMPER* DEPAN KENDARAAN *SUV* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**”. Laporan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu tugas dan syarat untuk memperoleh gelar Strata-1 (S-1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Djoeli Satrijo ,MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
2. Ibu Ir. Eflita Yohana, MT, PhD selaku Koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
3. Orang tua, kak Melva, bang Larry serta ketiga adik penulisa Andre, Mike dan Nico.
4. Heru Purnomo sebagai rekan Tugas Akhir atas kerja sama dan bantuannya
5. Teman – teman seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2007 dan semua pihak yang berhubungan langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam penulisan laporan.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi isi maupun cara penyusunannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca demi kesempurnaan laporan ini.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis pada khususnya.

Semarang, Maret 2012

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xviii
NOMENKLATUR	xx

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 PEMBATASAN MASALAH	3
1.5 METODE PENELITIAN	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4

BAB II DASAR TEORI

2.1 <i>BUMPER</i>	6
2.1.1 Sistem <i>Metal Facebar</i>	7
2.1.2 Sistem Fasia Plastik dan <i>Reinforcing beam</i>	7
2.1.3 Sistem Fasia Plastik, <i>Reinforcing beam</i> dan Penyerap Energi....	8
2.2 KOMPONEN BUMPER.....	8

2.2.1	<i>Fascia/Cover</i>	8
2.2.2	Penyerap Energi	8
2.2.3	<i>Facebar</i>	9
2.2.4	<i>Reinforcing beam</i>	9
2.3	PENYERAPAN ENERGI.....	11
2.4	<i>ECE Regulation 42</i>	13
2.4.1	Tujuan <i>ECE R.42</i>	13
2.4.2	Defenisi <i>ECE R.42</i>	13
2.4.3	Prosedur Tumbukan Pada Kecepatan Rendah	14
2.5	METODE ELEMEN HINGGA	16
2.5.1	Metode Elemen Hingga.....	16
2.5.2	Jenis-jenis Elemen.....	18
2.6	KONSEP TEGANGAN	21
2.6.1	Tegangan Normal dan Tegangan Geser	22
2.6.2	Kriteria Kegagalan Material.....	23
2.7	<i>IMPACT</i>	25
2.7.1	<i>Direct Central Impact</i>	26
2.8	<i>SHOCK DAN IMPACT</i>	29
2.9	PROGRAM BANTU	32
2.9.1	CATIA	32
2.9.2	ANSYS/LS-DYNA	34

BAB III PERANCANGAN

3.1.	BAGAN PERANCANGAN	37
3.2.	METODE PERANCANGAN	38
3.3.	KONSEP PERANCANGAN	38
3.4.	SPESIFIKASI DESAIN PERANCANGAN.....	39
3.5.	PARAMETER PERANCANGAN	39
3.6.	ALTERNATIF DESAIN.....	40
3.7.	PEMILIHAN ALTERNATIF DESAIN.....	41
3.8.	KEPUTUSAN	42

BAB IV PEMODELAN STRUKTUR BUMPER DEPAN

4.1.	BAGAN PEMODELAN DAN ANALISA	42
4.2.	PEMODELAN PENDULUM ECE R.42 KE <i>SOFTWARE</i> CAD	44
4.2.1.	Geometri Pendulum ECE R.42	44
4.2.2.	Profil.....	47
4.3	PEMODELAN STRUKTUR <i>BUMPER</i> DEPAN KE <i>SOFTWARE</i> <i>CAD</i>	48
4.3.1	Pemodelan <i>Beam Bumper</i> Depan	49
4.3.2	Pemodelan Tumpuan <i>Bumper</i> Depan.....	50
4.4	<i>ASSEMBLY</i> PENDULUM DAN STRUKTUR <i>BUMPER</i>	51
4.4.1	<i>Assembly</i> Pendulum dan Struktur <i>Bumper</i> Depan.....	51
4.5	PEMODELAN UJI PENDULUM ECE R.42 PADA STRUKTUR <i>BUMPER</i> DEPAN KE <i>SOFTWARE</i> ANALISA	53
4.5.1.	<i>Import</i> Model Pendulum ECE R.42 dan Struktur <i>Bumper</i> Depan.....	53
4.5.2.	<i>Preprocessor</i>	54
5.5.2.1	<i>Element Type</i>	54
5.5.2.2	<i>Real constant</i>	55
5.5.2.3	<i>Material Properties</i>	56
5.5.2.4	<i>Meshing</i>	59
5.5.2.5	Pendefinisian Elemen.....	60
5.5.2.6	<i>Coupling/Ceqn</i>	62
5.5.2.7	<i>LS-DYNA Option</i>	62
5.5.3	<i>Solution</i>	63
5.5.3.1	<i>Initial velocity</i>	63
5.5.3.2	<i>Time Control</i>	64
5.5.3.3	<i>Output Control</i>	65
5.5.3.4	<i>Solve</i>	65
5.5.4	<i>General Postproc</i>	66
5.5.4.1	<i>List result</i>	66
5.5.4.2	Animasi	66

BAB V PEMODELAN STRUKTUR *BUMPER* DEPAN

5.1	PENGANTAR	69
5.2	DATA MASUKAN.....	69
5.2.1	<i>Element Type</i>	70
5.2.2	<i>Real constant</i>	70
5.2.3	<i>Material Properties</i>	71
5.2.4	<i>Nodal and Element</i>	72
5.3	DATA KELUARAN	73
5.3.1	Analisa dan Pembahasan Parameter Bentuk	73
5.3.2	Analisa dan Pembahasan Parameter Bahan.....	77
5.3.3	Analisa dan Pembahasan Parameter Ketebalan.....	80
5.3.4	Analisa dan Pembahasan Parameter <i>Absorber</i>	84
5.4	RELASI ENERGI	86

BAB VI PENUTUP

6.1	KESIMPULAN	86
6.2	SARAN.....	86

DAFTAR PUSTAKA	87
-----------------------------	----

LAMPIRAN A GAMBAR DAN PEMODELAN <i>BUMPER</i> DEPAN	
--	--

LAMPIRAN B TIPE <i>ELEMENT</i>	
---	--

LAMPIRAN C KASUS SEDERHANA	
---	--

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Uji <i>impact</i> pada kecepatan rendah	1
Gambar 2.1	Klasifikasi system <i>bumper</i>	6
Gambar 2.2	Penampang <i>beam</i> dengan las	10
Gambar 2.3	Penampang <i>beam</i> tanpa las	10
Gambar 2.4	Parameter sifat dari <i>crush box</i>	13
Gambar 2.5	Penampang pendulum ECE R.42.....	15
Gambar 2.6	Struktur bidang dengan bentuk sembarang	16
Gambar 2.7	Model elemen hingga yang mungkin pada elemen gambar 2.6..	17
Gambar 2.8	Elemen garis.....	18
Gambar 2.9	Elemen segitiga	18
Gambar 2.10	Elemen empat persegi panjang.....	18
Gambar 2.11	Elemen kuadrilateral	19
Gambar 2.12	Elemen Tetrahedron	19
Gambar 2.13	Elemen heksahedron	20
Gambar 2.14	Pengirisan sebuah benda	21
Gambar 2.15	Elemen tegangan tiga dimensi dan tegangan pada bidang.....	22
Gambar 2.16	Perbandingan teori tegangan geser maksimum dengan distorsi energi.....	25
Gambar 2.17	<i>Direct Central Impact</i>	26
Gambar 2.18	Ilustrasi mekanika impact dua partikel seperti sistem tunggal....	26
Gambar 2.19	Ilustrasi hubungan kecepatan v'_A dan v'_B dengan komponen skalar v'_A dan v'_B	27
Gambar 2.20	Model matematika dua derajat kebebasan pada <i>automobile</i> yang menabrak sebuah penghalang	29
Gambar 2.21	kasus <i>impact</i> 1	30
Gambar 2.22	kasus <i>impact</i> 2	30
Gambar 2.23	Tampilan umum CATIA	32
Gambar 2.24	<i>Workbench toolbar generative shape design</i>	33
Gambar 2.25	Tampilan ANSYS/LS-DYNA pada windows	35

Gambar 3.1	Bagan perancangan struktur <i>bumper</i> depan	37
Gambar 3.2	Tipe <i>bumper</i> dengan penyerap energi	38
Gambar 3.3	Spesifikasi Desain Perancangan.....	39
Gambar 3.4	Bagan Pemilihana Alternatif Perancangan.....	42
Gambar 4.1	Bagan perancangan struktur <i>bumper</i> depan	43
Gambar 4.2	Kendaraan Nissan X-Trail ST 2.0 litre 2WD Petrol	44
Gambar 4.3	Pemodelan pendulum ECE R.42.....	45
Gambar 4.4	<i>Skecth.1</i> arah profil pendulum ECE R.42	46
Gambar 4.5	<i>sketch.2</i> profil pendulum pendulumECE R.42.....	46
Gambar 4.6	<i>Joint skecth.1</i> arah profil pendulum ECE R.422.....	46
Gambar 4.7	<i>Joint skecth.2</i> profil tertutup pendulum ECE R.42	47
Gambar 4.8	<i>Sweep volume</i> profil c tertutup pendulum ECE R.42.....	48
Gambar 4.9	<i>Sketch.2</i> profil segi empat pendulum ECE R.42	48
Gambar 4.10	<i>Extrude volume</i> profil segi empat pendulum ECE R.42	49
Gambar 4.11	Pemodelan <i>bumper</i> depan	49
Gambar 4.12	(a) Profil <i>Bumper Beam</i>	50
	(b) <i>Guide curve Bumper Beam</i>)	50
Gambar 4.13	<i>Sweep</i> sesuai profil dan <i>guide curve</i>	50
Gambar 4.14	Profil plat tumpuan.....	51
Gambar 4.15	Sketsa Tumpuan <i>Bumper Beam</i>	51
Gambar 4.16	Tumpuan <i>Bumper Beam</i>	52
Gambar 4.17	Dokumen <i>assembly</i> pendulum dan struktur <i>bumper</i>	52
Gambar 4.18	<i>Tools constraint</i> dalam dukemen <i>assembly design</i>	53
Gambar 4.19	<i>offset constraints</i> jarak/posisi tumbukan.....	53
Gambar 4.20	<i>Assembly</i> pendulum dan struktur <i>bumper</i>	54
Gambar 4.21	Fitur <i>prefernces</i> ANSYS LS-DNA Explicit 86.....	54
Gambar 4.22	Hasil <i>import file</i> CATIA ke dalam <i>software</i> analisa.....	55
Gambar 4.23	Pemilihan tipe elemen	55
Gambar 4.24	<i>Real constan</i> tipe elemen <i>Thin Shell</i> 163	56
Gambar 4.25	<i>Real constan</i> tipe elemen <i>3D Mass</i> 166	57
Gambar 4.26	Pendiskripsian <i>material properties</i>	59

Gambar 4.27	<i>Size control area</i>	60
Gambar 4.28	<i>refine mesh</i>	61
Gambar 4.29	pendefinisian elemen	61
Gambar 4.30	assembly komponen struktur <i>bumper</i> depan	62
Gambar 4.31	<i>Coupling/ceqn</i> pada <i>beam</i> dan tumpuan	63
Gambar 4.32	Definisi <i>contact parameter</i>	64
Gambar 4.33	<i>Contact</i> dan <i>target option</i>	64
Gambar 4.34	<i>Input</i> kecepatan awal pada pendulum	65
Gambar 4.35	Pendiskripsian <i>time control</i> uji pendulum	65
Gambar 4.36	Pendiskripsian <i>output control</i>	66
Gambar 4.37	Proses <i>solve</i>	66
Gambar 4.38	<i>List result (nodal solution)</i>	67
Gambar 4.39	Hasil <i>capture</i> pada <i>postprocessor</i>	68
Gambar 5.1	Plot Tegangan <i>Von Mises</i>	73
Gambar 5.2	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> parameter Bentuk	74
Gambar 5.3	Grafik <i>Displacement</i> parameter Bentuk	75
Gambar 5.4	Grafik Kecepatan Pendulum parameter Bentuk	76
Gambar 5.5	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> parameter Bahan	78
Gambar 5.6	Grafik <i>Displacement</i> parameter Bahan	79
Gambar 5.7	Grafik Kecepatan Pendulum parameter Bahan	80
Gambar 5.8	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> parameter Ketebalan	81
Gambar 5.9	Grafik <i>Displacement</i> parameter Ketebalan	82
Gambar 5.10	Grafik Kecepatan Pendulum parameter Ketebalan	84
Gambar 5.11	Grafik Tegangan <i>Von Mises</i> menggunakan <i>absorber</i>	85
Gambar 5.12	Grafik <i>Displacement</i> menggunakan <i>absorber</i>	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Distribusi penumpang pada kendaraan	14
Tabel 2.2	Beberapa contoh jenis elemen dan derajat kebebasan titik nodalnya	20
Tabel 3.1	Alternatif desain struktur <i>bumper</i> depan.....	41
Tabel 4.1	Spesifikasi teknik rancang bangun kendaraan Nissan X-Trail ST 2.0 litre 2WD Petrol.MESIN	44
Tabel 4.2	sifat material dari model.....	58
Tabel 4.3	sifat material dari model pendulum (<i>Rigid material</i>).....	58
Tabel 4.4	sifat material dari model beam (<i>Bilinier kinematics</i>).....	58
Tabel 4.5	sifat material dari modeludukan (<i>Bilinier kinematics</i>).....	58
Tabel 4.6	sifat material dari model masa kendaraan (<i>Rigid material</i>).....	59
Tabel 5.1	Karakteristik pemodelan dari uji pendulum.....	69
Tabel 5.2	Tipe <i>Element</i>	70
Tabel 5.3	<i>Real constant</i>	71
Tabel 5.4	sifat material dari model.....	71
Tabel 5.5	Sifat material dari <i>beam</i> untuk parameter bentuk dan bahan.....	72
Tabel 5.6	sifat material dari <i>beam</i> untuk parameter ketebalan dan <i>absorber</i>	72
Tabel 5.7	Jumlah nodal untuk tiap komponen	72
Tabel 5.8	Tegangan <i>VonMises</i> dari berbagai desain	74
Tabel 5.9	<i>Displacement</i> dari berbagai desain.....	75
Tabel 5.10	Kecepatan pendulum dan kecepatan massa dari berbagai desain..	76
Tabel 5.11	Tegangan <i>VonMises</i> dari berbagai bahan.....	77
Tabel 5.12	<i>Displacement</i> dari berbagai bahan	78
Tabel 5.13	Kecepatan pendulum dan kecepatan massa dari bahan.....	79
Tabel 5.14	Tegangan <i>VonMises</i> dari berbagai ketebalan	81
Tabel 5.15	<i>Displacement</i> dari ketebalan	82
Tabel 5.16	Kecepatan pendulum dan kecepatan massa dari berbagai ketebalan	83
Tabel 5.17	Tegangan <i>VonMises</i>	84

Tabel 5.18	<i>Displacement</i> Bumper Depan Yang sudah menggunakan <i>absorber</i>	85
------------	--	----

NOMENKLATUR

Simbul	Besaran	Satuan
A	Luas permukaan	$[m^2]$
A	percepatan	$[m/s^2]$
d_p	Deformasi pada bumper	$[m]$
E	Elastisitas	$[GPa]$
E_k	Energi kinetik	$[J]$
E_p	Energi pendulum	$[J]$
e	Koefisien restitusi	$[-]$
F	Gaya	$[N]$
F_a	Beban setengah puncak maksimum(beban aman)	$[J]$
g	Gravitasi	$[m/s^2]$
h	Ketinggian	$[m]$
I	Momen inersia	$[kg.m^2]$
L	Panjang	$[m]$
k	Kekakuan material	$[N/m^2]$
M	Massa	$[kg]$
M	Momen lentur	$[N.m]$
N	Gaya normal	$[N]$
n	Faktor keamanan	$[-]$
P	Tekanan	$[N/m^2]$
S_t	Kekuatan mengalah terhadap gaya tarik	$[N/m^2]$
S_c	Kekuatan mengalah terhadap gaya tekan	$[N/m^2]$
S_{sy}	Kekuatan geser luluh	$[N/m^2]$
S_{ut}	Kekuatan mengalah akhir terhadap gaya tarik	$[N/m^2]$
S_{uc}	Kekuatan mengalah akhir terhadap gaya tekan	$[N/m^2]$
S_y	Kekuatan luluh	$[N/m^2]$
T_{input}	Energi kinetik <i>input</i>	$[J]$
T_{output}	Energi kinetik <i>output</i>	$[J]$

t	Tebal	[m]
u	Kecepatan saat tumbukan	[m/s]
V	Kecepatan	[m/s]
v_A	Kecepatan awal partikel A	[m/s]
v'_A	Kecepatan setelah tumbukan partikel A	[m/s]
v_B	Kecepatan awal partikel B	[m/s]
v'_B	Kecepatan setelah tumbukan partikel B	[m/s]
W	Gaya berat	[N]
y	Arah translasi	[m]
ρ	Masa jenis	[kg/m ³]
σ	Tegangan normal	[N/m ²]
σ_{eq}	Tegangan equivalen (von misses)	[N/m ²]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Tiga tegangan utama	[N/m ²]
σ_A	Tegangan pada garis beban A	[N/m ²]
σ_B	Tegangan pada garis beban B	[N/m ²]
σ_{max}	Tegangan maksimum	[N/m ²]
σ_{min}	Tegangan minimum	[N/m ²]
σ_r	Daerah batas tegangan	[N/m ²]
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	Tegangan pada sumbu x , y , dan z	[N/m ²]
$\sigma_{x'}$	Tegangan bidang utama	[N/m ²]
τ	Tegangan geser	[N/m ²]
τ_{xy}, τ_{yx}	Tegangan geser pada bidang x - y	[N/m ²]
τ_{zy}, τ_{yz}	Tegangan geser pada bidang y - z	[N/m ²]
τ_{xz}, τ_{zx}	Tegangan geser pada bidang x - z	[N/m ²]
τ_{max}	Tegangan geser maksimum	[N/m ²]
τ_{min}	Tegangan geser minimum	[N/m ²]
ν	Poisson rasio	[-]
ω	Kecepatan sudut	[rad/s]